

Моделирование системы селекции движущихся целей в программе NI Multisim 10.1

Олег СОКОЛОВ,
к. т. н.

В статье описываются разработанные модели аналоговых череспериодных компенсаторов с однократным и двукратным вычитанием [1]. Приводятся некоторые результаты их исследований: осциллограммы и спектрограммы на выходах блоков, АЧХ пачек радиоимпульсов, отношения сигнал/помеха на входах и выходах.

Приведен пример вычисления вероятности обнаружения пачки радиоимпульсов в системе селекции движущихся целей (СДЦ) в табличном процессоре Excel. При этом представительная выборка отсчетов помехи и смеси сигналов с помехой производилась по соответствующим реализациям на осциллограммах модели.

Задача моделирования методов выделения сигналов от движущихся целей на фоне пассивных помех от неподвижных отражателей весьма актуальна для разработчиков соответствующей аппарату-

ры и студентов вузов — будущих радиоинженеров.

Методы селекции движущихся целей, которые основаны на различии доплеровских смещений частот выделяемого эхосигнала

и пассивных помех от неподвижных отражателей, описаны в литературе [1].

В то же время отсутствуют описания моделей систем СДЦ в широко используемых программах моделирования электронных блоков и систем NI Multisim 10.1 и предшествующей ей EWB 5.12 [2].

На рис. 1 приведена схема модели системы. Модель содержит формирователь пачек радиоимпульсов (FRI), генератор помехи (GP), сумматор (Σ), аналоговые череспериодные компенсаторы с однократным (ЧПК 1 крат) и двукратным (ЧПК 2 крат) вычитанием. К выходам ЧПК подсоединены инерционные детекторы (ИД 1, ИД 2) и последовательно соединенные фильтры высоких и нижних частот (FNgh).

На выходе формирователя FRI можно получать пачки радиоимпульсов, состоящие из одного, двух, трех, четырех или пяти радиоимпульсов. На рис. 2 приведена схема формирователя FRI. Пунктирная стрелка указывает на генератор V2 прямоугольных импульсов, управляя которым можно получать пачку с заданным числом радиоимпульсов. Для этого устанавливается длительность положительного импульса от 0,1 до 0,5 мс.

Приведенная на рис. 2 установка длительности положительного импульса 0,3 мс соответствует формированию пачки из трех радиоимпульсов. Осциллограмма таких пачек приведена на рис. 3. Форма огибающей каждого радиоимпульса в пачке близка к колоколообразной (рис. 4).

Амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) пачки из четырех радиоимпульсов приведена на рис. 5: показан основной лепесток АЧХ и боковые лепестки слева и справа. АЧХ пачки радиоимпульсов на уровне около

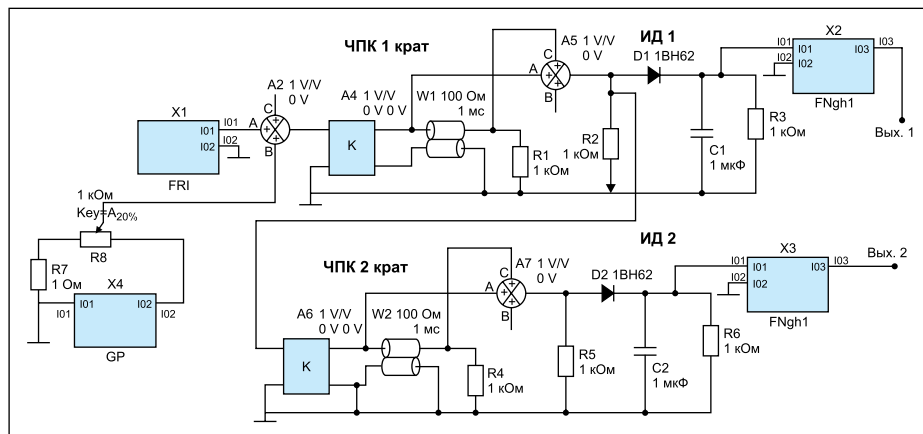


Рис. 1. Схема модели селекции движущихся целей

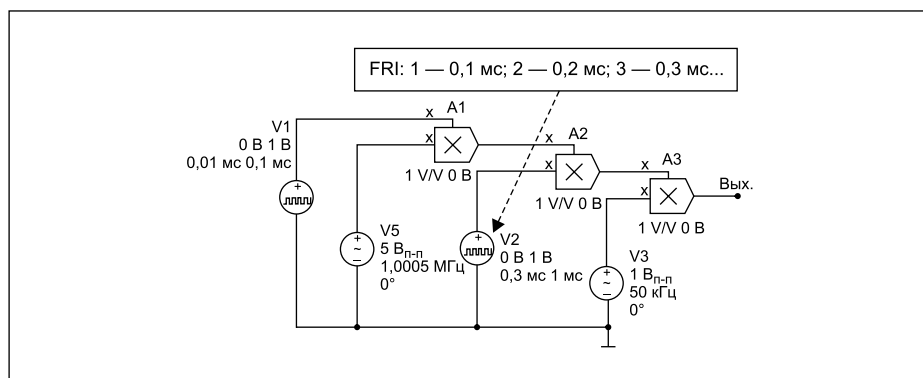


Рис. 2. Схема формирователя пачки радиоимпульсов

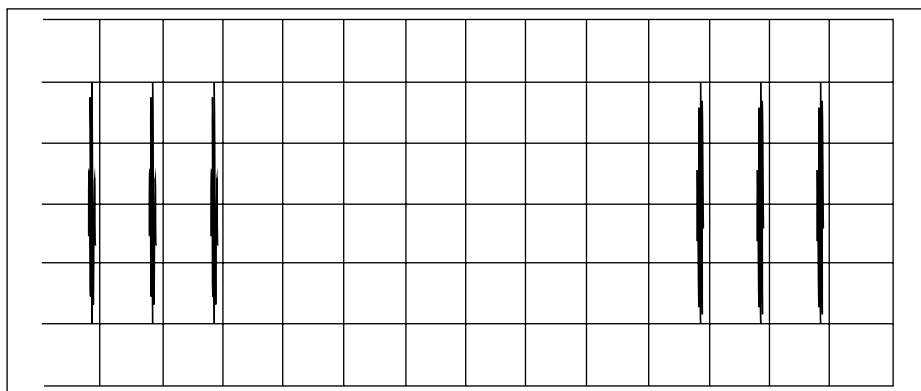


Рис. 3. Осциллограмма пачки из трех радиоимпульсов

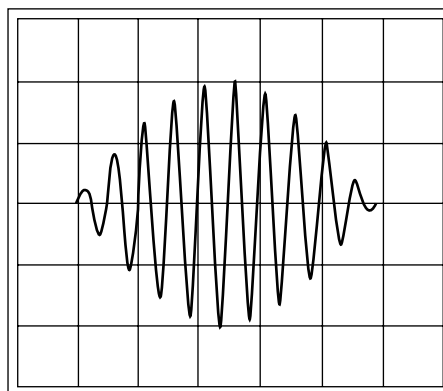


Рис. 4. Осциллограмма одного радиоимпульса

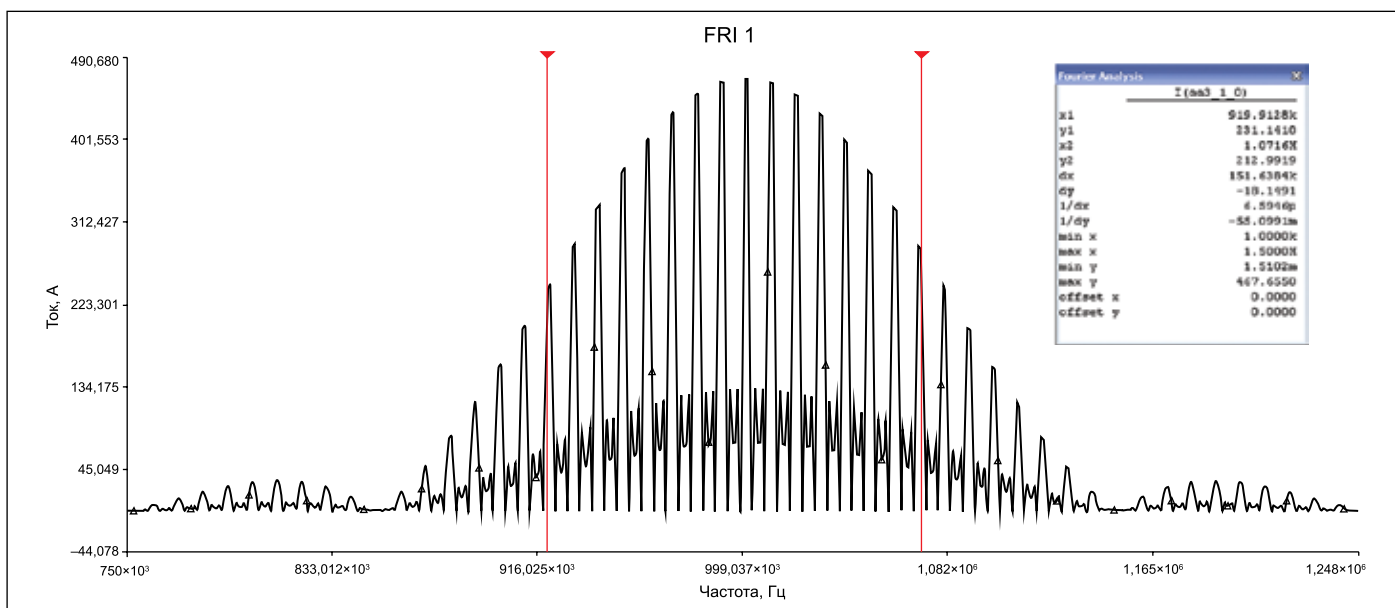


Рис. 5. АЧХ пачки из четырех радиоимпульсов

0,5 от максимального значения тока занимает полосу частот от 919 до 1070 кГц.

Генератор помехи (GP) состоит из девяти источников напряжений синусоидальных, с амплитудной модуляцией и с частотной модуляцией, а также четырех сумматоров. На выходе генератора GP создается квазислучайное напряжение с гауссовой плотностью распределения вероятностей и с АЧХ, близкой к прямоугольной форме.

Спектр помехи на уровне 0,5 от максимального значения тока занимает полосу частот от 920 до 11 000 кГц. Величина эффективного напряжения регулируется потенциометром R8 от 0 до 100%, включенным последовательно с резистором R7 (рис. 1).

Сумма пачки радиоимпульсов и помехи поступает на сумматор A2. Осциллограмма пачки из двух радиоимпульсов и модели естественной помехи в канале распространения на выходе сумматора A2 представлена на рис. 6.

Смесь радиоимпульсов и помехи поступает на вход череспериодного компенсатора с однократным вычитанием (ЧПК 1 крат).

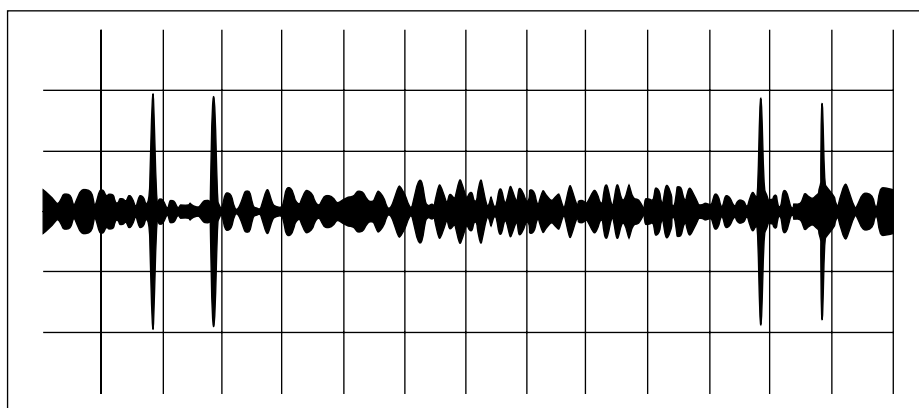


Рис. 6. Осциллограмма пачки из двух радиоимпульсов на фоне естественной помехи

Осциллограммы на входе (верхняя) и выходе (нижняя) череспериодного компенсатора с однократным вычитанием представлены на рис. 7. Эффективное напряжение помехи после первого цикла радиолокационного обзора увеличивается $\sim\sqrt{2}$.

Отметим, что отношение сигнал/помеха на выходе ЧПК с однократным вычитанием

возрастает $\sim\sqrt{2}$ раза по сравнению с входным отношением сигнал/помеха, но при условии наиболее благоприятного радиолокационного наблюдения. Такое условие имеет место, когда радиальная скорость движущейся цели [1]:

$$V_r = \frac{2n+1}{4} \lambda_u F_n,$$

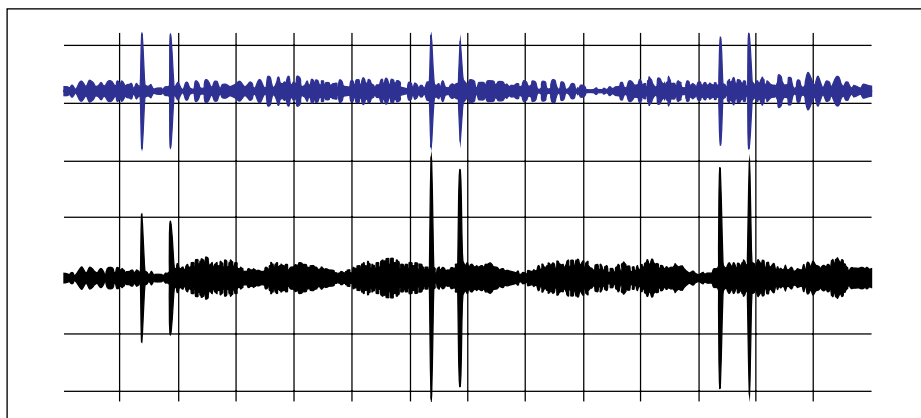


Рис. 7. Осциллограммы на входе (верхняя) и выходе (нижняя) ЧПК 1 крат

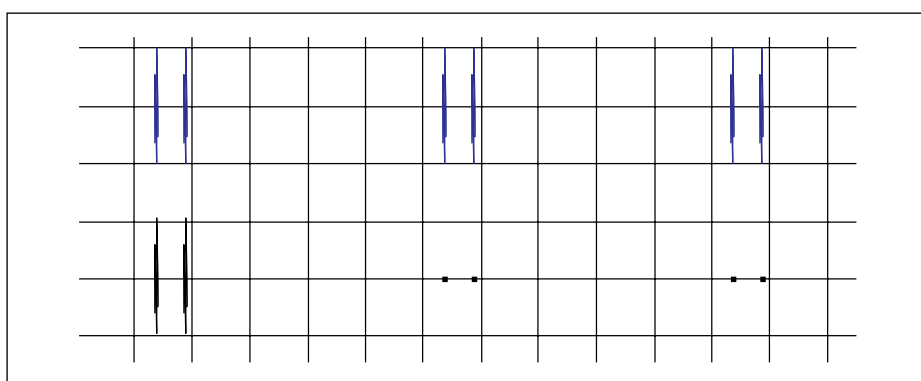


Рис. 8. Осциллограммы на входе (верхняя) и выходе (нижняя) ЧПК 1 крат

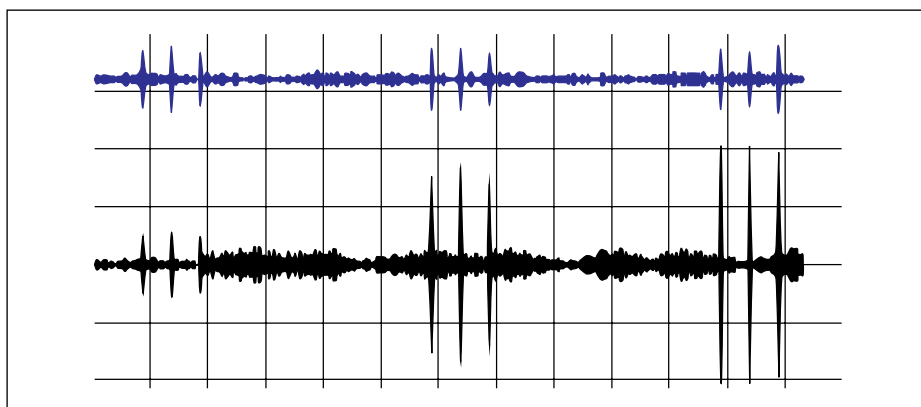


Рис. 9. Осциллограммы пачки из трех радиоимпульсов на входе (верхняя) и выходе (нижняя) ЧПК 2 крат

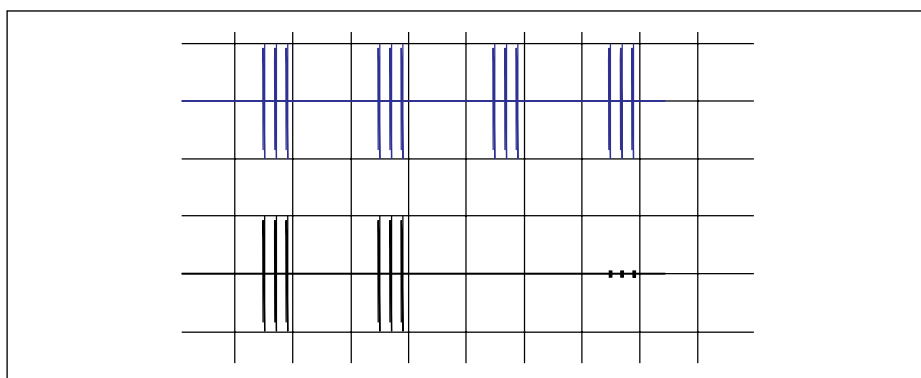


Рис. 10. Осциллограммы пачки из трех радиоимпульсов на входе (верхняя) и выходе (нижняя) ЧПК 2 крат

где $n = 1, 2, \dots$; λ_u — длина волны несущей частоты радиоимпульса; F_n — частота повторения пачки радиоимпульсов.

При радиальной скорости цели, равной $V_r = (n/2)\lambda_u F_n$, радиоимпульсы будут подавляться фильтром, что и показывают осциллограммы на рис. 8. Для наглядности пачки радиоимпульсов на осциллограммах приведены без помехи.

Осциллограммы пачки из трех радиоимпульсов на входе и выходе череспериодного компенсатора с двукратным вычитанием представлены на рис. 9.

Отношение сигнал/помеха на выходе ЧПК с двукратным вычитанием, начиная с третьего цикла обзора, возрастает примерно в 2,4 раза при наиболее благоприятном радиолокационном наблюдении по сравнению с входным отношением сигнал/помеха.

При радиальной скорости цели, равной $V_r = (n/2)\lambda_u F_n$, радиоимпульсы будут подавляться фильтром, что демонстрируют осциллограммы на входе и выходе ЧПК с двукратным вычитанием (рис. 10). Подавление пачки радиоимпульсов начинается с третьего цикла радиолокационного обзора.

На рис. 11 представлены осциллограммы пачки из четырех радиоимпульсов на входе первого инерционного детектора (ИД 1), на его выходе и на выходе фильтра FNgh. Схема фильтра FNgh состоит из последовательно включенных фильтра высоких частот и фильтра нижних частот. АЧХ инерционного детектора и фильтра FNgh отличаются тем, что на выходе ИД 1 присутствуют высокочастотные составляющие гармоники в диапазоне частот от 292 до 552 Гц. На выходе фильтра FNgh высокочастотные составляющие гармоники в диапазоне частот 292–552 Гц практически подавлены.

На рис. 12 приведены осциллограммы помехи на выходе инерционного детектора ИД 1 (верхняя) и выходе фильтра FNgh (нижняя).

Плотность распределения вероятностей помехи на выходе ИД 1 определяется обобщенным законом Релея-Райса со средним значением, не равным нулю, а плотность распределения вероятностей помехи на выходе фильтра FNgh — нормальным законом с нулевым средним значением.

На рис. 13 приведен пример вычисления вероятности обнаружения пачки радиоимпульсов на фоне помех для заданной вероятности ложной тревоги в табличном процессоре Excel. Перед получением значений плотности распределения вероятностей в процессоре Excel вычислялись средние и среднеквадратичные значения помехи и смеси сигнала и помехи. При этом представительная выборка отсчетов помехи и смеси сигналов с помехой производилась по 30 реализациям на осциллограммах модели.

Разработанные модели позволяют проводить широкий круг исследований систем СДЦ.

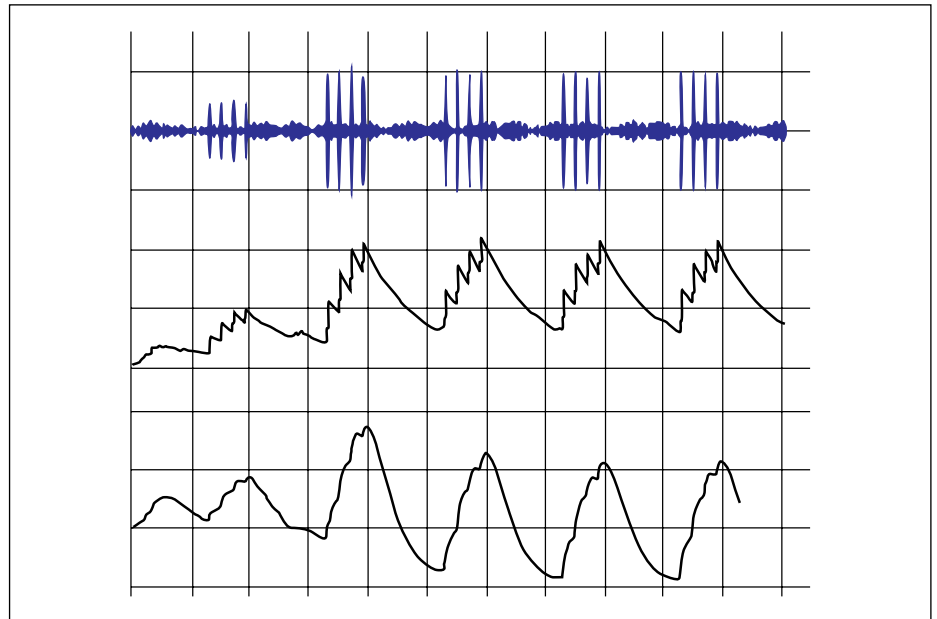


Рис. 11. Осциллограммы пачки из четырех радиоимпульсов на входе первого инерционного детектора (ИД 1) (верхняя), на его выходе (средняя) и на выходе фильтра FNgh (нижняя)

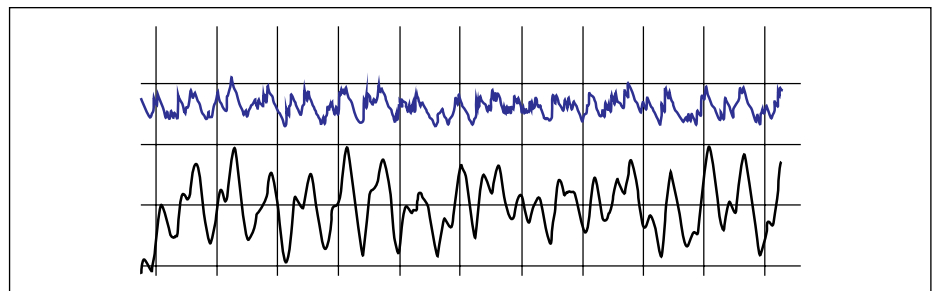


Рис. 12. Осциллограммы помехи на выходе инерционного детектора ИД 1 (верхняя) и выходе фильтра FNgh (нижняя)

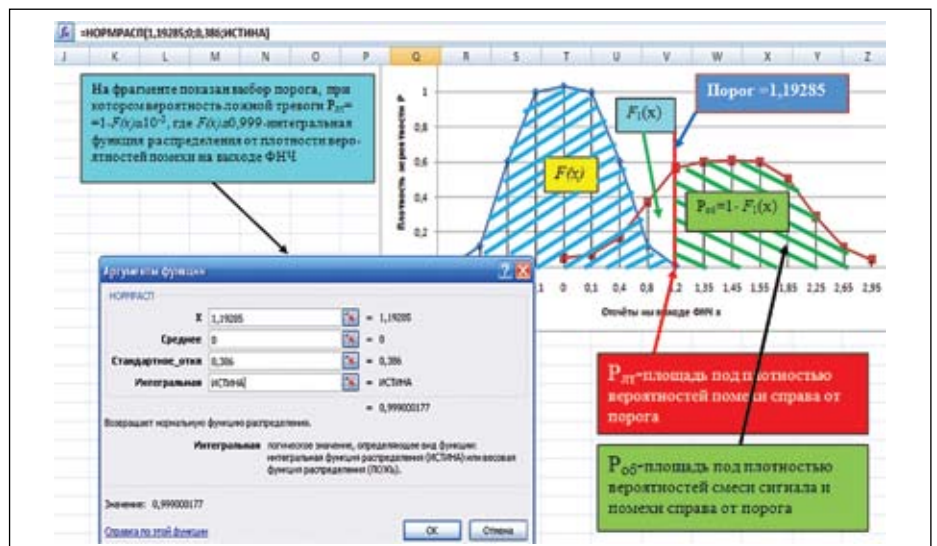


Рис. 13. Пример вычисления вероятности обнаружения пачки радиоимпульсов на фоне помех для заданной вероятности ложной тревоги в табличном процессоре Excel

Литература

1. Гришин Ю. П., Ипатов В. П., Казаринов Ю. М. и др. Радиотехнические системы: Учебник для вузов по спец. «Радиотехника». М.: Высшая школа, 1990.
2. Введение в Multisim, Electronics Workbench. National Instruments, 2006.